PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-134446
(43)Date of publication of application : 18.05.2001

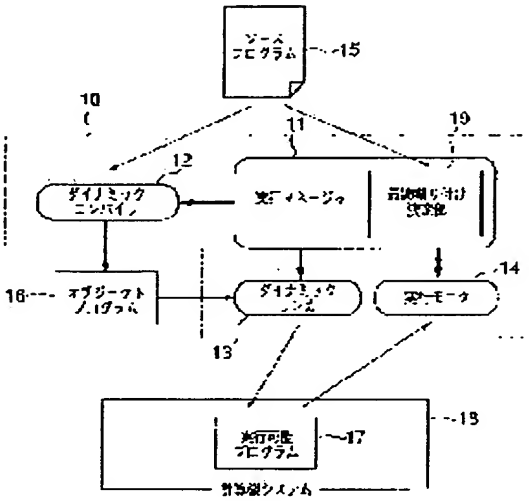
51)Int.Cl. G06F 9/45
G06F 15/16

21)Application number : 11-314130
22)Date of filing : 04.11.1999

(71)Applicant : NEC CORP
(72)Inventor : MURAI HITOSHI

54) SYSTEM AND METHOD FOR OPTIMIZING MEMORY ALLOCATION, AND RECORDING MEDIUM

57)Abstract:
PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce overheads at the of execution of such as suffix conversion, area dynamic allocation or the like while suppressing the necessary memory size of a program to the size of the memory of a computer system.
SOLUTION: Optimal memory allocation is decided by an optimal allocation deciding part 9 in the range of a memory size available at present by an execution time monitor 14. A dynamic complier 12 generates an object program for realizing the optimal memory allocation decided by the optimal allocation deciding part 19, and a dynamic linker 13 displaces one part of an object program without stopping the execution of an executable program.



EGAL STATUS

Date of request for examination]	10.10.2000
Date of sending the examiner's decision of rejection]	08.09.2004
Kind of final disposal of application other than the examiner's ecision of rejection or application converted registration]	
Date of final disposal for application]	
Patent number]	3633404
Date of registration]	07.01.2005
Number of appeal against examiner's decision of rejection]	2004-21018
Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	08.10.2004
Date of extinction of right]	

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12)公開特許公報（Ａ）　(11)特許出願公開番号
特開2001－134446
（P2001－134446A）
(43)公開日　平成13年５月18日(2001.5.18)

(51)Int.Cl.⁷	識別記号	ＦＩ		テーマコード（参考）
Ｇ０６Ｆ　9/45		Ｃ０６Ｆ　15/16	６３０Ｃ	５Ｂ０４５
15/16	６３０	9/44	３２２Ｈ	５Ｂ０８１

審査請求　有　　請求項の数15　ＯＬ　（全 11 頁）

(21)出願番号　特願平11－314130

(22)出願日　平成11年11月４日(1999.11.4)

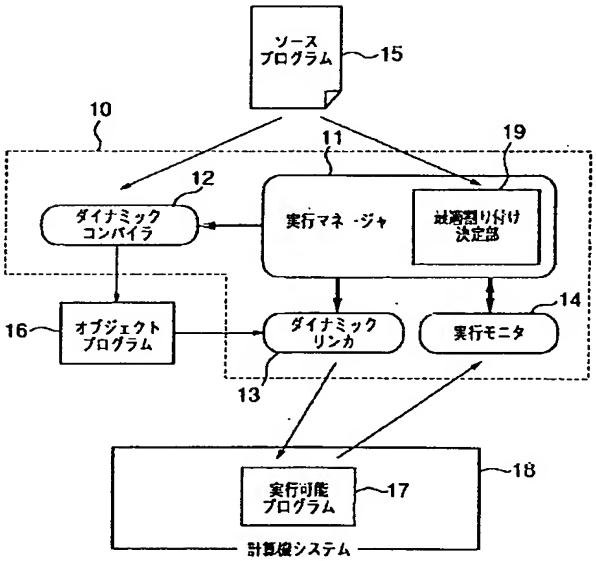
（出願人による申告）国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成11年度通商産業省軽水炉改良技術確証試験等（発電設備診断システムの開発（学習・適応型情報処理による診断システムの開発）に関する委託研究、産業活力再生特別措置第30条の適用を受けるもの）

(71)出願人　000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目７番１号
(72)発明者　村井　均
東京都港区芝五丁目７番１号　日本電気株式会社内
(74)代理人　100071272
弁理士　後藤　洋介　（外１名）

Ｆターム(参考)　5B045 DD02 GG11
5B081 CC27 CC41

(54)【発明の名称】　メモリ割り付け最適化システム、方法、及び記録媒体

(57)【要約】
【課題】　プログラムの必要メモリサイズを計算機システムの備えるメモリ以下に抑えつつ、添字変換や領域の動的割り付けといった実行時のオーバヘッドを削減する。
【解決手段】　実行時モニタ１４が得た現在利用可能なメモリサイズの範囲内で、最適割り付け決定部１９が最適なメモリ割り付けを決定する。ダイナミックコンパイラ１２は、最適割り付け決定部１９が決定した最適なメモリ割り付けを実現するオブジェクトプログラムを生成し、ダイナミックリンカ１３は、実行可能プログラムの実行を停止することなくオブジェクトプログラムの一部を置換する。



【特許請求の範囲】

【請求項１】　プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得する実行モニタと、
当該プログラムのソースプログラム、前記メモリのサイズ、及び前記各データの重要度に基づいて、各データの最適なメモリ割り付け方法を決定する最適割り付け決定部とを有することを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項２】　プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得する実行モニタと、
当該プログラムのソースプログラム及び前記取得された前記メモリのサイズに基づいて、前記各データの最適なメモリ割り付け方法を決定する最適割り付け決定部と、
前記決定された各データの最適なメモリ割り付け方法に基づいて、前記ソースプログラムを変形し再コンパイルすることにより、オブジェクトプログラムを生成するダイナミックコンパイラと、
前記オブジェクトプログラムを、対応する元のオブジェクトプログラムと置換することにより、実行中の実行可能プログラムを変更するダイナミックリンカと、
前記各構成要素の動作を制御する実行マネージャとを有することを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項３】　請求項２に記載のメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記実行マネージャが、所定のタイミングで、前記各構成要素の動作を行うよう制御することを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項４】　請求項３に記載のメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記所定のタイミングが、当該並列計算機の所定の資源の利用状況が変化した時点であることを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項５】　請求項２に記載のメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記ダイナミックコンパイラが、メインプログラムで直接利用されるデータに関するメモリについても最適な割り付けを行うために、当該メインプログラムに相当する部分が、新たなメインプログラムから呼び出されるように、ソースプログラムを変形することを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項６】　請求項２に記載のメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記最適割り付け決定部での決定が、前記プログラム内の手続き呼び出し毎に行われ、割り付け方法が、前記手続き呼び出しの引数として指定された前記データ毎に決定されることを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項７】　請求項６に記載のメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記割り付け方法が、前記データのうち、当該プロセッサエレメントに関連する部分のみを前記プロセッサエレメントのメモリに割り付ける第１の方法と、前記データ全体を、当該プロセッサエレメントのメモリに割り付ける第２の方法とを含み、
前記最適割り付け決定部が、データの重要度を参照して、前記データを前記第１または第２の方法のいずれかの方法で割り付け、結果的に全てのデータが当該プロセッサエレメントのメモリに収容されるように、各データ毎の割り付け方法を決定することを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項８】　請求項７に記載のメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記最適割り付け決定部が、各プロセッサエレメント毎に、
（１）前記第１の方法で割り付けられたデータのメモリ上のサイズの合計と前記第２の方法で割り付けられたデータのメモリ上のサイズの合計を加算した数が当該プロセッサのメモリの合計サイズ以下であり、
（２）前記第２の方法で割り付けられたデータに対応する重要度が最大となるように、各データの割り付け方法を決定することを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項９】　請求項７に記載のメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記割り付け方法の決定が、ＮＰ問題の近似解をもとめる手法を用いて行われることを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項１０】　請求項７に記載のメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記重要度が、前記プログラムによって、前記データがアクセスされる頻度であることを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項１１】　請求項６に記載のメモリ割り付け最適化システムにおいて、
前記最適割り付け決定部で決定された割り付け方法が、１つのデータに対して複数存在する場合に、当該割り付け方法を１つに統一することを特徴とするメモリ割り付け最適化システム。

【請求項１２】　プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プロ

グラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化方法において、
前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得するステップと、
当該プログラムのソースプログラム、前記メモリのサイズ、及び前記各データの重要度に基づいて、各データの最適なメモリ割り付け方法を決定するステップとを有することを特徴とするメモリ割り付け最適化方法。
【請求項13】 プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化方法において、
前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得するステップと、
当該プログラムのソースプログラム及び前記取得された前記メモリのサイズに基づいて、前記各データの最適なメモリ割り付け方法を決定するステップと、
前記決定された各データの最適なメモリ割り付け方法に基づいて、前記ソースプログラムを変形し再コンパイルすることにより、オブジェクトプログラムを生成するステップと、
前記オブジェクトプログラムを、対応する元のオブジェクトプログラムと置換することにより、実行中の実行可能プログラムを変更するステップとを有することを特徴とするメモリ割り付け最適化方法。
【請求項14】 プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化方法を実現させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記方法を実現させるプログラムは、
前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得するステップと、
当該プログラムのソースプログラム、前記メモリのサイズ、及び前記各データの重要度に基づいて、各データの最適なメモリ割り付け方法を決定するステップとを有することを特徴とするプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。
【請求項15】 プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化方法を実現させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記方法を実現させるプログラムは、
前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得するステップと、
当該プログラムのソースプログラム及び前記取得された前記メモリのサイズに基づいて、前記各データの最適なメモリ割り付け方法を決定するステップと、
前記決定された各データの最適なメモリ割り付け方法に基づいて、前記ソースプログラムを変形し再コンパイルすることにより、オブジェクトプログラムを生成するステップと、
前記オブジェクトプログラムを、対応する元のオブジェクトプログラムと置換することにより、実行中の実行可能プログラムを変更するステップとを有することを特徴とするプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。
【発明の詳細な説明】
【0001】
【発明の属する技術分野】本発明は、分散メモリ型並列計算機におけるメモリ割り付けの最適化方法に関し、特に、再コンパイルによって並列プログラムに対するメモリ割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化方法に関する。
【0002】
【従来の技術】分散メモリ型並列計算機とは、各々がローカルメモリを持つ複数のプロセッサが、相互結合網（ネットワーク）で結合された構造の計算機システムである。通常、データは、各プロセッサ・エレメント（PE）のローカルメモリに分散して配置される。
【0003】逐次ソースプログラムから分散メモリ型並列計算機向けのオブジェクトプログラムを生成するコンパイラは、ソースプログラムに現れるデータ（配列）を、各PEのローカルメモリ上に分割・配置する。
【0004】これを実現する方式として、宣言された配列の領域（グローバル領域）のうち、各PEに分割・配置されたローカルな領域だけをローカルメモリに割り付ける方式がある（本明細書中、当該方式をSHRUNK方式と呼ぶことにする）。この方式では、ソースプログラムでは、グローバル領域上の添字式でアクセスされるよう記述されるのに対し、オブジェクトプログラムでは、ローカルメモリ領域上の添字式でアクセスする必要がある。従って、当該方式では、実行時にグローバル領域上の添字からローカル領域上の添字への変換処理が必要になる。
【0005】また、配列の分割を変更する際には、配列の領域を動的に割り付けたり、元の領域から値をコピーしたりする処理が必要になる。これらの処理は、プログラムの実行時間を増大させる要因となる。
【0006】尚、複数のPE間に亘って共有すべきデータがある場合、そのデータは、共有メモリや、データを使用する各PEのローカルメモリ等に配置される。
【0007】一方、配列を各プロセッサに配置する際に領域を分割せず、全プロセッサが配列の全体に等しい領域を保持し、そのうちのローカルな部分のみを用いると

いう方法も考えられる（ここでは、当該方式をNOSHRUNK方式と呼ぶことにする）。この方法は、HPF/JA (High Performance Fortran 2.0 公式マニュアル, High Performance Fortran Forum, シュプリンガー・フェアラーク東京 (1999)) では、「フルシャドウ(FULL-SHADOW)」と呼ばれている。この方法では、必要な添字変換や領域の動的割り付けといった処理は不要であるため、実行時間を削減することができる。しかし、SHRUNK方式に比べると、メモリの使用効率が悪く、巨大な配列を扱うプログラムに適用することはできない。

【０００８】配列に対してメモリ割り付け方法を個別に決めることができる場合、計算機システムのメモリサイズの範囲内でできるだけ多くの配列をNOSHRUNK方式で割り付ける方がよい。しかし、どの配列をNOSHRUNK方式で割り付けるのが最適であるかは、一般には利用可能なメモリサイズに依存し、利用可能なメモリサイズは種々に変化し得るため、最適なメモリ割り付け方法をコンパイル時に決定することはできない。

【０００９】以下では、並列プログラムを記述するのに、HPF/JA の記法を用いる。

【００１０】

【発明が解決しようとする課題】第１の問題点は、SHRUNK方式では、実行時に添字変換や領域の動的割り付けといったオーバヘッドが発生することである。これは、ソースプログラムとオブジェクトプログラムでは配列のメモリ割り付け方法が異なることに起因する。

【００１１】第２の問題点は、NOSHRUNK方式では、巨大な配列を扱えないことである。これは、当該方法では、配列全体をローカルメモリに配置しようとすることに起因する。

【００１２】第３の問題点は、最適なメモリ割り付け方法をコンパイル時に決定することは一般にはできないことである。当該計算機システムの処理内容に応じて、システムの環境が変化すると、それに伴って、利用可能なメモリサイズも変化するからである。

【００１３】従って、本発明の目的は、プログラムの必要メモリサイズを、現在利用可能なメモリサイズ以下に抑えつつ、以上の問題点を解決するメモリ割り付け最適化方法を提供することである。

【００１４】

【課題を解決するための手段】本発明の第１の実施態様によれば、プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化システムにおいて、前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得する実行モニタと、当該プログラムのソースプログラム、前記メモリのサイズ、及び前記各データの重要度に基づいて、各データの最適なメモリ割り付け方法を決定する最適割り付け決定部とを有するメモリ割り付け最適化システムが提供される。

【００１５】また、本発明の第２の実施態様によれば、プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化システムにおいて、前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得する実行モニタと、当該プログラムのソースプログラム及び前記取得された前記メモリのサイズに基づいて、前記各データの最適なメモリ割り付け方法を決定する最適割り付け決定部と、前記決定された各データの最適なメモリ割り付け方法に基づいて、前記ソースプログラムを変形し再コンパイルすることにより、オブジェクトプログラムを生成するダイナミックコンパイラと、前記オブジェクトプログラムを、対応する元のオブジェクトプログラムと置換することにより、実行中の実行可能プログラムを変更するダイナミックリンカと、前記各構成要素の動作を制御する実行マネージャとを有するメモリ割り付け最適化システムが提供される。

【００１６】また更に、本発明の第３の実施態様によれば、プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化方法において、前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得するステップと、当該プログラムのソースプログラム、前記メモリのサイズ、及び前記各データの重要度に基づいて、各データの最適なメモリ割り付け方法を決定するステップとを有するメモリ割り付け最適化方法が提供される。

【００１７】また更に、本発明の第４の実施態様によれば、プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化方法において、前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得するステップと、当該プログラムのソースプログラム及び前記取得された前記メモリのサイズに基づいて、前記各データの最適なメモリ割り付け方法を決定するステップと、前記決定された各データの最適なメモリ割り付け方法に基づいて、前記ソースプログラムを変形し再コンパイルすることにより、オブジェクトプログラムを生成するステップと、前記オブジェクトプログラムを、対応する元のオブジェクトプログラムと置換することにより、実行中の実行可能プログラムを変更するステップとを有するメモリ割り付け最適化方法が提供される。

【００１８】更に、本発明の第５の実施態様によれば、プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する

各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化方法を実現させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体が提供され、前記方法を実現させるプログラムは、前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得するステップと、当該プログラムのソースプログラム、前記メモリのサイズ、及び前記各データの重要度に基づいて、各データの最適なメモリ割り付け方法を決定するステップとを有する。

【００１９】また更に、本発明の第６の実施態様によれば、プログラムが複数のプロセッサエレメントを備える並列計算機で実行される場合に、当該プログラムが使用する各データの前記プロセッサエレメントのメモリへの割り付けを最適化するメモリ割り付け最適化方法を実現させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体が提供され、前記方法を実現させるプログラムは、前記プロセッサエレメントで現在利用可能なメモリのサイズを取得するステップと、当該プログラムのソースプログラム及び前記取得された前記メモリのサイズに基づいて、前記各データの最適なメモリ割り付け方法を決定するステップと、前記決定された各データの最適なメモリ割り付け方法に基づいて、前記ソースプログラムを変形し再コンパイルすることにより、オブジェクトプログラムを生成するステップと、前記オブジェクトプログラムを、対応する元のオブジェクトプログラムと置換することにより、実行中の実行可能プログラムを変更するステップとを有する。

【００２０】

【発明の実施の形態】図１を参照して、本発明の第１の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

【００２１】本発明のメモリ割り付け最適化システム１０は、実行マネージャ１１と、ダイナミックコンパイラ１２と、ダイナミックリンカ１３と、実行モニタ１４とを含む。

【００２２】実行マネージャ１１は、最適割り付け決定部１９を備えている。

【００２３】実行マネージャ１１は、ダイナミックコンパイラ１２、ダイナミックリンカ１３、実行モニタ１４の制御を行う。

【００２４】ダイナミックコンパイラ１２は、実行マネージャ１１より最適割り付け方法Ins-optを受け取って、ソースプログラム１５を再コンパイルし、最適なメモリ割り付けを実現するオブジェクトプログラム１６を生成する。ダイナミックコンパイラ１２は、任意の配列がSHRUNK方式またはNOSHRUNK方式で割り付けられるようにソースプログラム１５をコンパイルできる。

【００２５】ダイナミックリンカ１３は、実行可能プログラム１７に含まれる手続きのうちダイナミックコンパイラ１２の再コンパイル対象になったものを、新しいオブジェクトプログラム１６で置換した後、リンクを行い、新しい実行可能プログラムを生成する。

【００２６】実行モニタ１４は、実行可能プログラム１７や計算機システム１８のオペレーティングシステムまたはハードウェアより、現在のメモリ割り付け方法Ins-current、現在利用可能なメモリのサイズMallを受け取り、実行マネージャ１１に伝達する。

【００２７】ここで、メモリ割り付け方法Insとは、NOSHRUNK方式で割り付けられる配列の集合である。また、利用可能なメモリとは、ある１つのＰＥが有するローカルメモリであって、実行可能プログラム１７に関するスカラデータや種々の実行時データが割り付けられているメモリ、あるいは計算機システム１８上で動作する他の実行可能プログラムが使用中のメモリなどを除いたものである。

【００２８】最適割り付け決定部１９は、実行モニタ１４より受け取った実行時情報とソースプログラム１５から得られる情報を元に、計算機システム１８における、ソースプログラム１５に対する最適なメモリ割り付け方法を決定する。決定された方法は、ダイナミックコンパイラ１２に伝達される。

【００２９】ここで、最適なメモリ割り付け方法Ins-optの決定方法について説明する。

【００３０】プログラム中で使われる配列A1,A2,…,Anを、SHRUNK方式およびNOSHRUNK方式で割り付ける場合に必要となるメモリサイズをそれぞれ、m1,m2,…,mnおよびM1,M2,…,Mnとする。また、配列の重みをw1,w2,…,wnとする。ここで、wiは、一定時間内に配列Aiがアクセスされた回数（アクセス頻度）とする。wiの値の設定に関しては、例えば、動的割り付けが生じる回数など他の基準も考えられるが、本発明の実施の形態はwiの値として何が設定されるかにはよらない。

【００３１】このとき、最適割り付けを決定する問題は、次の式１、及び式２を用いて記述される。

【００３２】（以下で、I≡{1,2,…,n}とする）。

【００３３】

【数１】

$$\sum_{i \in I - Ins} mi \quad + \quad \sum_{i \in Ins} Mi \quad \leq \quad Mall \qquad \cdots\cdots (式1)$$

の元で、

【数２】

$$W \quad = \quad \sum_{i \in Ins} wi \qquad \cdots\cdots (式2)$$

を最大にするような Ins（⊆ I）を求める。ここで、式１の左辺の第１項は、ある１つのＰＥにおいて、実際にSHRUNK方式で割り当てられる配列のメモリサイズの合計であり、第２項は、当該ＰＥにおいて、実際にNOSHRUNK

方式で割り当てられる配列のメモリサイズの合計を示す。式１は、実際に割り当てられるメモリサイズの合計が、１つのＰＥの使用可能ローカルメモリの合計サイズを越えないことを示している。

【００３４】このような条件は、一般には、当該計算機システム内のＰＥ全てを考慮して設定すべきであるが、ここでは、問題を単純化するため、ある１つのＰＥについて考える。このとき、他のＰＥでも前記１つのＰＥと同一の動作（即ち、同一のメモリ割り当て）が行われていると仮定する。

【００３５】ここで、

$$\sum_{i \in Ins} M'i \leq Mall - \sum_{i \in I} mi \equiv M'all \quad \cdots\cdots (式4)$$

の元で、

$$W \equiv \sum_{i \in Ins} wi \quad \cdots\cdots (式5)$$

を最大にするような Ins（⊆ I)を求める。

【００３７】これは、いわゆるナップザック問題として把握することが可能である。ナップザック問題はＮＰ問題であることが知られており、配列の数ｎに対して多項式時間内で解くことはできない。しかし、多項式時間内で近似解を得る方法は多く知られており（Sahni, Sarta j K., "Approximate algorithms for the 0/1 knapsack problem, "Journal of the ACM, vol. 22, no. 1, pp. 115-124, January, 1975を参照されたい）、最適割り付け決定部１９は、そのうちの任意の１つの方法でIns-optの近似解を求めることができる。

【００３８】次に、図１および図２を参照して本実施の形態の動作について詳細に説明する。

【００３９】実行モニタ１４は、実行可能プログラム１７や計算機システム１８のオペレーティングシステムまたはハードウェアより、現在のメモリ割り付け方法Ins-current、現在利用可能なメモリサイズMallを受け取り、実行マネージャ１１に伝達する（図２のステップ２１）。

【００４０】最適割り付け決定部１９は、現在利用可能なメモリサイズMallおよびソースプログラムの配列出現情報から、最適なメモリ割り付け方法Ins-optを求める（ステップ２２）。

【００４１】実行マネージャ１１は、実行モニタ１４より得たIns-currentがIns-optと等しいか否かを判定する（ステップ２３）。

【００４２】Ins-currentがIns-optと異なる場合、実行マネージャ１１は、ダイナミックコンパイラ１２を起動し、Ins-optを伝達する。

【００４３】ダイナミックコンパイラ１２は、配列Ai（iはIns-optに含まれる）がNOSHRUNK方式で、配列Aj（jはIns-optに含まれない）がSHRUNK方式でそれぞれ割り付けられるようにソースプログラム１５をコンパイルし、新しいオブジェクトプログラム１６を生成する（ステップ２４）。

M'i ≡ Mi - mi　　．．．．（式３）

とすると、この問題は次の式４、及び式５を用いて書き換えられる。但し、上記式３におけるMiとmiはそれぞれ、配列AiをNOSHRUNK方式で割り当てるとした場合のメモリサイズ、配列AiをSHRUNK方式で割り当てるとした場合のメモリサイズを示しており、これらが実際に同時に割り当てられる訳ではない。式１に示すように、ある配列Aiのローカルメモリへの割り当てに関しては、NOSHRUNK方式かSHRUNK方式のどちらかが用いられる。

【００３６】

【数３】

【数４】

【００４４】本実施形態は、プログラムの実行の間に、対象の手続きが複数回実行される場合に大きな効果がある。従って、例えば、図３のプログラムのように、ループ中から呼ばれて複数回実行される手続きを対象とすることが好ましい。

【００４５】ここで、メインプログラムは、ダイナミックコンパイラ１２の再コンパイル処理の対象にはできない。このような制限が存在するのは、ダイナミックコンパイラ１２における再コンパイルが、メインプログラム内の手続き呼び出しを対象として行われるためである。

【００４６】また、メモリ割り付け最適化の対象となるのは、ダイナミックコンパイラ１２の再コンパイル処理の対象手続き内でのみ割り付けが行われる配列である。

【００４７】ダイナミックリンカ１３は、まず実行可能プログラム１７の動作を一時的に中断させる。次に、実行可能プログラム１７に含まれる手続きのうちダイナミックコンパイラの再コンパイル対象になったものを、新しいオブジェクトプログラム１６で置換する。次に、それらのオブジェクトプログラムをリンクして新しい実行可能プログラムを生成し、実行可能プログラムの動作を再開させる（ステップ２５）。

【００４８】ステップ２３において、Ins-currentがIns-optと等しい場合、本発明の実施の形態は何もせずに処理を終了する。

【００４９】次に、具体的な実施例を用いて本実施の形態の動作を説明する。

【００５０】配列A1ないしA8の現れる、図３のようなプログラムを考える。この場合の、mi, Mi, M'i, wi のそれぞれの値が、図４の表に示されている。

【００５１】ここで、A1 はメインプログラムで割り付けられるので、上述の通り、本実施形態における最適化の対象にはならない。

【００５２】また、Mall = 1000であるとする。

【００５３】図４を参照すると、全ての配列がSHRUNK方式で割り付けられた場合には、
M'all = Mall - Σ mi = 1000 - 160 = 840
となる。
【００５４】ここで、全ての配列がSHRUNK方式で割り付けられるようにコンパイルされた実行可能プログラムが、計算機システム上で動作しているものとする。このとき、
Mcurrent = 160
Ins-current = {}
である。
【００５５】ステップ２１において、実行モニタは、計算機システムおよび実行可能プログラムから、上記の Mall, Mcurrent, Ins-current を得て、実行マネージャへ伝達する。
【００５６】ステップ２２において、実行マネージャは最適割り付け決定部を起動する。
【００５７】最適割り付け決定部は、実行マネージャより伝達された Mall とソースプログラムから抽出した配列情報から、最適割り付け方法 Ins-opt を計算する。
【００５８】ここでは、wiの値の大きい配列から順に Ins-opt に加えていく「greedy アルゴリズム」を用いる。その結果、
Ins-opt = {3,6,7,8}
が得られる。
【００５９】ステップ２３において、Ins-current と Ins-opt は異なるので、ステップ２４に移る。
【００６０】ステップ２４において、実行マネージャはダイナミックコンパイラを起動する。ダイナミックコンパイラは、Ins-opt に含まれる配列A3, A6, A7, A8がNOSHRUNK方式で、その他の配列がSHRUNK方式で割り付けられるようにソースプログラムを再コンパイルし、新しいオブジェクトプログラムを生成する。
【００６１】ステップ２５において、ダイナミックリンカは、新しいオブジェクトプログラムと、実行可能プログラムに含まれるオブジェクトプログラムを置換する。
【００６２】その結果、
Mcurrent = 916 ≦ Mall
となり、Mall の範囲内で、4つの配列A3, A6, A7, A8をNOSHRUNK方式で割り付けることができる。
【００６３】次に、本発明の第２の実施形態の動作について説明する。
【００６４】上述した第１の実施形態においては、実行モニタ１４及び実行マネージャ１１は、任意のタイミングで１度だけ実行され得る。これに対し、第２の実施形態では、所定のタイミングで実行マネージャを起動することにより、第１の実施形態で行われた処理を繰り返し行う。実行マネージャを起動するタイミングとしては、例えば、計算機システム上で動作する他の実行可能プログラムが終了した時点や配列の分割・配置方法が変更された時点などが考えられる。
【００６５】本実施形態では、プログラムの実行中に計算機システムの状態が変化した場合であっても、それに応じてメモリ割り付け方法を動的に変化させることができる。
【００６６】次に、本発明の第３の実施形態の動作について説明する。
【００６７】第１の実施形態では、メインプログラムを再コンパイルの対象にできなかった。即ち、メインプログラムで割り付けが行われる配列に対しては割り付け方法を最適化できなかった。そこで、本発明の第３の実施形態では、ダイナミックコンパイラ１２がダミーのメインプログラムを生成し、本来のメインプログラムはこのダミーのメインプログラムから呼び出されるようにソースプログラムを変形する。この際に、本来の再コンパイル対象である手続き呼び出しを囲むループにストリップマイニングを適用し、その外側ループはダミーのメインプログラムに置く。また、本来のメインプログラム内で宣言される変数は共通ブロック実体とする。その後、本来のメインプログラムであった手続きを再コンパイルの対象として、第１の実施形態を適用する。
【００６８】図３のソースプログラムに本実施形態を適用すると、ダイナミックコンパイラ１２は、図５のプログラムを生成する。この場合のmi, Mi, M'i, wi のそれぞれの値は、図６の表に示すようなものである。
【００６９】また、Mall = 1000とする。
【００７０】従って、図６の表から、M'all = Mall - Σ mi = 1000 - 200 = 800が得られる。
【００７１】ここで、第１の実施形態を適用すれば、
Ins-opt = {1,3,8}
が得られる。
【００７２】本実施形態では、上述のように、メインプログラムも再コンパイルの対象にすることができるため、メインプログラムで割り付けが行われる配列に対しても本発明を適用できる。
【００７３】次に、本発明の第４の実施形態について詳細に説明する。
【００７４】前述の通り、第１の実施形態では、再コンパイル対象の各手続きに対して個別に最適割り付け方法を決定する。従って、ある手続き呼び出しに関して、実引数と仮引数で異なる割り付け方法が選択される可能性があり、その場合、実行時に割り付け方法を変換するオーバヘッドが生じる。
【００７５】例えば、
CALL SUB１(A1, A2)
CALL SUB２(A2, A3)
というコードが、再コンパイルされるプログラムのソースコードに記述されている場合、本発明の第１の実施形態では、手続き単位に、各配列に対してSHRUNK方式かNOSHRUNK方式が決定されるため、上記SUB１の引数に示さ

れた配列A2が、SHRUNK方式と決定され、上記SUB２の引数に示された配列A2がNOSHRUNK方式と決定される場合がある。実際には、１つの方法で配列A2が配置されるため、当初決定された方式で配置されなかったことになる手続き、SUB１、SUB２のどちらかは、配列A2をアクセスする際に、その異なる方式用に、アドレス等の変換を行う必要が生じる。

【００７６】そこで、第４の実施形態では、最適割り付け決定部は、手続き呼び出しの実引数と仮引数の割り付け方法をできるだけ一致させるように各配列の割り付け方法を決定する。具体的には、決定された１つの配列の割り付け方式が、手続き間で異なっている場合に、当該割り付け方法を、ローカルメモリの合計を越えないという条件の下で、どちらかの方法に統一し、その統一された方法に基づいてオブジェクトプログラムを生成（又は再生成）する。

【００７７】本実施形態により、割り付け方法を変換するための実行時オーバヘッドを削減することができる。

【００７８】次に、図７を参照して、本発明の各実施形態が実行される分散メモリ型並列計算機システムの一構成例について説明する。尚、図１に示した構成要素と同一の要素については、同一の符号が付されている。

【００７９】当該計算機システム１８は、ｎ個のプロセッサエレメントＰＥ１ないしＰＥｎ（31_1～31_n）を有している。ＰＥの数は、例えば４、８、１６といった数である。これら複数のＰＥは、ネットワーク３２によって相互に接続されている。また、各ＰＥは、それぞれ、ローカルメモリ及びプロセッサを有している。各プロセッサは、対応するローカルメモリ（又は共有メモリ）にロードされたプログラムに従って、ローカルメモリ内のデータその他に対して並列処理を実行する。

【００８０】本発明によるメモリ割り付け最適化システム１０は、ネットワーク３２に接続され、そのネットワークを介して、各ＰＥに動的に再コンパイルされたプログラムを送信し、データの割り付けの変更等を指示する。また、メモリ割り付け最適化システム１０内の実行モニタ１４は、当該ネットワーク３２を介して、各ＰＥのローカルメモリの空き容量の状況等を取得する。

【００８１】この例では、メモリ割り付け最適化システム１０は、ＰＥとは異なる、例えばホストマシン内で実行されるものとして示されているが、１つのＰＥを使用して当該システム１０を実現することも可能である。

【００８２】記録媒体３３は、ソースプログラム１５や、メモリ割り付け最適化方法を実現するためのプログラム自体を含み、必要に応じてメモリ割り付け最適化システム１０で読み取られる。こうした記録媒体３３の代表的な例は、フロッピー（登録商標）ディスクやＣＤ－ＲＯＭである。

【００８３】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明では、以下の効果を得ることが出きる。

【００８４】第１の効果は、頻繁にアクセスされる配列を、重要度に応じて、できるだけオーバヘッドの小さいNOSHRUNK方式で割り付けることにより、添字変換や動的割り付けといったオーバヘッドを削減できることである。

【００８５】第２の効果は、必要メモリの小さいSHRUNK方式で割り付けることにより、巨大な配列を扱えることである。

【００８６】第３の効果は、実行時に、計算機システムの現在の状態に応じて最適なメモリ割り付け方式を決定し、それに従って生成されたオブジェクトプログラムで、実行中の実行可能プログラムの一部を（実行を停止することなく）置換するため、計算機システムの状態に応じて、常に最適なメモリ割り付け方式を達成できることである。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１、第２、第３および第４の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図２】本発明の第１の実施形態の動作を示す流れ図である。

【図３】本発明の第１の実施形態において入力されるソースプログラムのコードの一部を示す図である。

【図４】各配列毎に、SHRUNK方式、NOSHRUNK方式によるメモリ割り当てサイズ等を示す表である。

【図５】本発明の第３の実施形態において入力されるソースプログラムのコードの一部を示す図である。

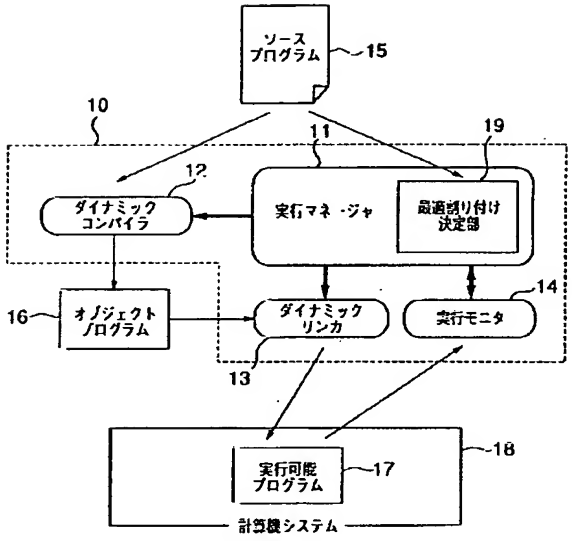
【図６】各配列毎に、SHRUNK方式、NOSHRUNK方式によるメモリ割り当てサイズ等を示す表である。

【図７】本発明が実行される分散メモリ並列処理計算機システムの一構成例を示すブロック図である。

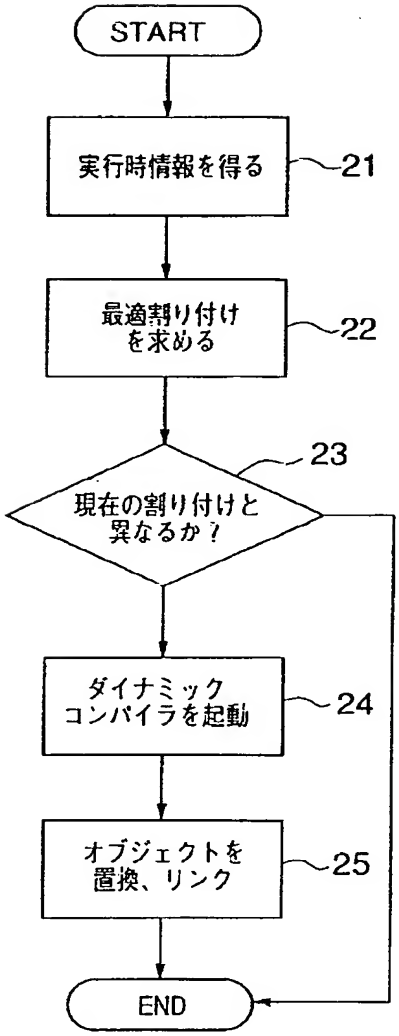
【符号の説明】

１０　メモリ割り付け最適化システム
１１　実行マネージャ
１２　ダイナミックコンパイラ
１３　ダイナミックリンカ
１４　実行モニタ
１５　ソースプログラム
１６　オブジェクトプログラム
１７　実行可能プログラム
１８　計算機システム
１９　最適割り付け決定部
31_1～31_n　プロセッサエレメント（ＰＥ）
３２　ネットワーク
３３　記録媒体

【図1】



【図2】



【図3】

```
      PROGRAM SAMPLE
      REAL A1 (100)
!HPF$ PROCESSORS P (10)
!HPF$ DISTRIBUTE (BLOCK) ONTO P:: A1
      DO I=1,100
        ...
        CALL SUB (A1)
        ...
      END DO
      END
      SUBROUTINE SUB (A1)
      REAL A1 (100)
      REAL A2 (100), A3 (200), A4 (40), A5 (50),
     \      A6 (80), A7 (20), A8 (10)
!HPF$ PROCESSORS P (10)
!HPF$ DISTRIBUTE *(BLOCK) ONTO *P:: A1
!HPF$ DISTRIBUTE (BLOCK) ONTO P:: A2, A3, A4, A5,
!HPF$\                                A6, A7, A8
      ...
      END
```

【図4】

	mi	Mi	M'i	wi
A2	40	400	360	100
A3	40	400	360	240
A4	16	160	144	50
A5	20	200	180	80
A6	32	320	288	150
A7	8	80	72	250
A8	4	40	36	20

【図6】

	mi	Mi	M'i	wi
A1	40	400	360	200
A2	40	400	360	100
A3	40	400	360	240
A4	16	160	144	50
A5	20	200	180	80
A6	32	320	288	150
A7	8	80	72	250
A8	4	40	36	20

【図5】

```
      PROGRAM DUMMY_MAIN

      DO I=1,10
        CALL SAMPLE
      END DO

      END

      SUBROUTINE SAMPLE

      REAL A1 (100)
      COMMON A1

!HPF$ PROCESSORS P (10)
!HPF$ DISTRIBUTE (BLOCK) ONTO P:: A1

      DO I=1,10
        ...
        CALL SUB (A1)
        ...
      END DO

      END

      SUBROUTINE SUB (A1)

      REAL A1 (100)
      REAL A2 (100), A3 (200), A4 (40), A5 (50),
     \      A6 (80), A7 (20), A8 (10)

!HPF$ PROCESSORS P(10)
!HPF$ DISTRIBUTE *(BLOCK) ONTO *P:: A1
!HPF$ DISTRIBUTE (BLOCK) ONTO P:: A2, A3, A4, A5,
!HPF$\                             A6, A7, A8

      ...

      END
```

【図7】